

## PERBANDINGAN PENGUKURAN PHOTOSYNTETICALLY ACTIVE RADIATION (PAR) SECARA LANGSUNG DAN TAK LANGSUNG DALAM PERIODE SINGKAT DI SPAG BUKIT KOTOTABANG

Agusta Kurniawan

### ABSTRACT

This study was conducted to compare the results of measurement of PAR (Photosynthetically Active Radiation) between the direct and the indirect method in the Global Atmospheric Watch (GAW) Bukit Kototabang Station. Direct measurements was performed by PAR Radiometer sensor which is one of instrumentation AAWS (Agroclimate Automatic wheather Station). Indirect measurement using empirical equations which are output of the three instruments, namely QPSP-Eppley Pyranometer ( $I_{Glo}$ ), RG58-Eppley Pyranometer ( $I_{NIR}$ ) and Total UV Radiometer ( $I_{TUV}$ ). The magnitude of the intensity of PAR ( $I_{PAR}$ ) empirically defined  $I_{PAR} = I_{Glo} - (I_{NIR} + I_{TUV})$ . The comparison showed that the results of the calculation (indirect measurement) higher than the results of observations (direct measurement).

**Keywords:** UV, NIR, PAR, Bukit Kototabang.

### ABSTRAK

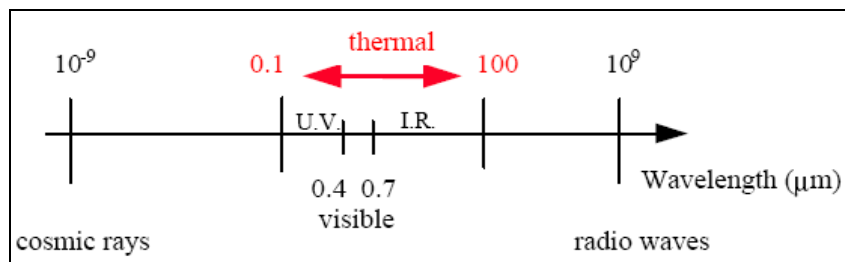
Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran PAR (Photosynthetically Active Radiation) antara metode langsung dan metode tak langsung di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang. Pengukuran secara langsung dilakukan dengan PAR Radiometer yang merupakan salah satu sensor dari instrumentasi AAWS (Agroclimate Automatic Wheather Station). Pengukuran tak langsung menggunakan persamaan empiris keluaran dari tiga buah instrumen, yaitu QPSP Pyranometer-Eppley ( $I_{Glo}$ ), RG58 Pyranometer-Eppley ( $I_{NIR}$ ) dan Total UV Radiometer ( $I_{TUV}$ ). Besarnya intensitas PAR ( $I_{PAR}$ ) secara empiris dirumuskan  $I_{PAR} = I_{Glo} - (I_{NIR} + I_{TUV})$ . Hasil perbandingan menunjukkan bahwa hasil perhitungan (pengukuran tak langsung) lebih tinggi daripada hasil observasi (pengukuran langsung).

**kata kunci:** UV, NIR, PAR, Bukit Kototabang.

### PENDAHULUAN

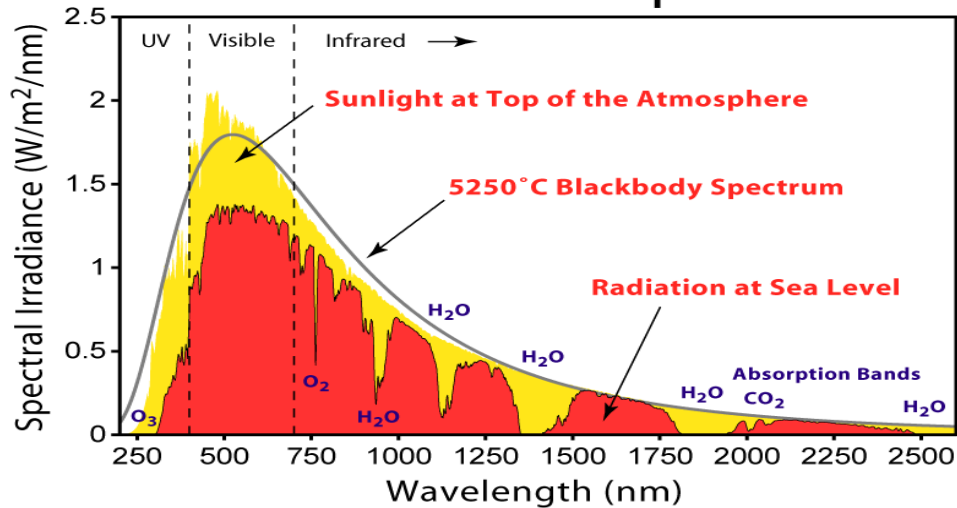
#### PAR (Photosynthetically Active Radiation)

Radiasi matahari merupakan sumber energi yang sangat penting di bumi. spektrum elektromagnetik matahari merupakan radiasi gelombang pendek yang berada pada kisaran panjang gelombang antara  $0,28\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ . Kondisi ini diakibatkan oleh karena suhu matahari yang mencapai 6000 K sehingga menghasilkan panjang gelombang pendek.



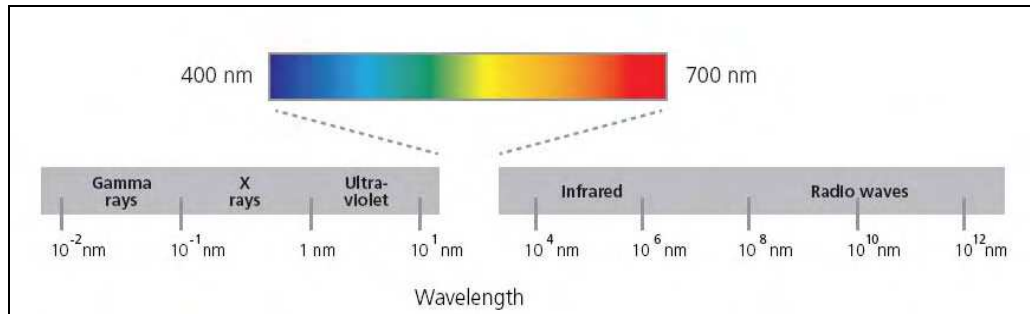
**Gambar 1.** Spektrum Elektromagnetik Sinar Matahari (dalam unit  $\mu\text{m}$ )

# Solar Radiation Spectrum



Gambar 2. Spektrum Elektromagnetik Sinar Matahari (dalam unit nm)

Tanaman memerlukan radiasi matahari untuk dapat tumbuh karena penggunaannya dalam proses fotosintesis. Gelombang elektromagnetik yang berasal dari radiasi matahari dengan panjang gelombang 400 – 700 nm digunakan oleh tumbuhan atau organisme lainnya untuk proses fotosintesis disebut sebagai Photosynthetically Active Radiation (PAR). Panjang gelombang PAR kurang lebih berada pada panjang gelombang sinar tampak.



Gambar 3. Spektrum Panjang Gelombang PAR

Besarnya PAR tidaklah sama untuk semua tempat, tergantung dari lintang suatu tempat, musim dan posisi matahari. Jika ketersediaan PAR ini cukup maka tumbuhan akan tumbuh dengan subur, tetapi ada hal lain yang akan mengurangi ketersediaan energi ini, yaitu adanya tutupan awan, tutupan tajuk dan polusi udara. Pengukuran PAR biasanya menggunakan dua jenis unit pengukuran yaitu sebagai  $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (unit photon) dan sebagai  $\text{W/m}^2$  (unit energi). Pengukuran PAR biasanya diaplikasikan di bidang pertanian, kehutanan dan kelautan. Pengukuran PAR dalam jangka panjang penting untuk perencanaan pertanian dan penting sebagai parameter pada kebanyakan model ekosistem di bumi. Pengukuran PAR di tulisan ini diukur sebagai  $\text{W/m}^2$  (unit energi).

Pada tulisan ini penulis berusaha membandingkan hasil pengukuran PAR secara langsung, yang didapatkan dari PAR Radiometer ( $I_{\text{PAR}}$ ) yang merupakan salah satu sensor dari instrumentasi AAWS (Agroclimate Automatic Weather Station) dengan pengukuran tidak langsung dimana nilai PAR diperoleh dari pengukuran tiga jenis instrument pengukuran radiasi matahari QPSP Pyranometer-Eppley ( $I_{\text{G10}}$ ), RG58 Pyranometer-Eppley ( $I_{\text{NIR}}$ ) dan Total UV Radiometer ( $I_{\text{TUV}}$ ) dengan formula matematis  $I_{\text{PAR}} = I_{\text{G10}} - (I_{\text{NIR}} + I_{\text{TUV}})$ .

**METODOLOGI**

**Lokasi Penelitian**

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun pengamatan referensi udara bersih dan berada di daerah remote. Secara geografi Stasiun Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang terletak pada 100.32 bujur timur, 0.20 lintang selatan dan pada ketinggian 864.5 meter di atas permukaan laut. . Bukit ini merupakan bukit yang tertinggi dibanding bukit sekitarnya pada radius 3 hingga 5 km. Stasiun GAW Bukit Kototabang dikelilingi oleh hutan tropis yang jauh dari aktivitas manusia Stasiun ini terletak pada lokasi yang jauh dari pemukiman dan aktivitas manusia agar udara yang diukur benar-benar alami sehingga dapat dijadikan dijadikan referensi udara bersih.

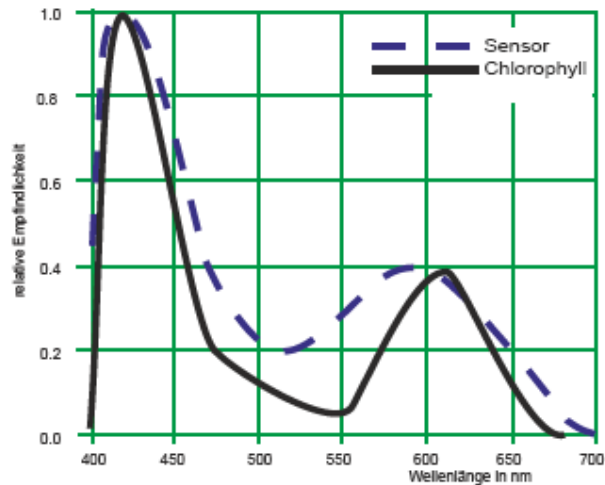
<b>Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG)</b>	
<b>Bukit Kototabang</b>	
Ketinggian	: 864,5 m
Lokasi	: Bukit Kototabang, Jl Raya Bukittinggi-Medan Km17, Kecamatan Palupuh, Kabupaten Agam, Sumatera Barat, Indonesia
Koordinat	: 00 <sup>o</sup> ,12',00"LS - 100 <sup>o</sup> ,19',12"BT
Tipe Station	: Remote/Background Monitoring



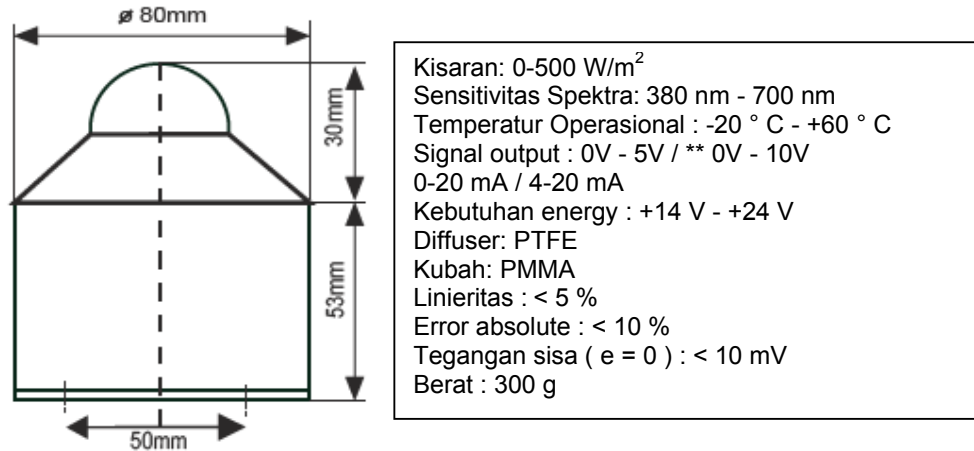
**Gambar 4.** SPAG Bukit Kototabang.

**Pengukuran PAR secara langsung ( $I_{PAR}$  langsung)**

Pengukuran PAR secara langsung dilakukan dengan PAR Radiometer, sensor ini terintegrasi di dalam instrumen AAWS (Agroclimate Automatic Wheather Station)



**Gambar 5.** PAR Radiometer



Gambar 6. Dimensi dan Spesifikasi Teknis PAR Radiometer

Sensor PAR Radiometer ini terintegrasi dalam instrumen AAWS (Agroclimate Automatic Weather Station). Data yang tersimpan dalam data logger (tipe datataker) merupakan data setiap menit (per menit) atau per sepuluh menit. Data kemudian dibuat menjadi agregat per jam dan per hari untuk tahapan pengolahan selanjutnya.

**Pengukuran PAR secara tidak langsung ( $I_{PAR}$  tidak langsung)**

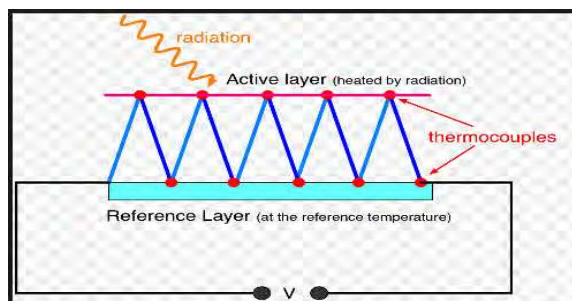
Pengukuran nilai PAR secara tidak langsung diperoleh dari pengukuran tiga jenis instrumen pengukuran radiasi matahari di SPAG Bukit Kototabang, yaitu QPSP Pyranometer-Eppley ( $I_{Glo}$ ), RG58 Pyranometer-Eppley ( $I_{NIR}$ ) dan Total UV Radiometer ( $I_{TUV}$ ) dengan formula matematis  $I_{PAR \text{ TIDAK LANGSUNG}} = I_{Glo} - (I_{NIR} + I_{TUV})$ . Data yang tersimpan dalam data logger (tipe Eppley CR1000) merupakan data setiap menit (per menit) atau per tiga menit. Data kemudian dibuat menjadi agregat per jam dan per hari untuk tahapan pengolahan selanjutnya.

Tabel 1. Spesifikasi alat pengukur radiasi matahari di Stasiun GAW Bukit Kotobang

	Global ( $I_{Glo}$ )	Ultraviolet ( $I_{TUV}$ )	Near Infrared ( $I_{NIR}$ )
Manufacture	Eppley	Eppley	Eppley
Calibration Factor	118.16 $\mu V W/m^2$	5.814 $\mu V W/m^2$	131.98 $\mu V W/m^2$
Spectral Range	0.280 - 3 $\mu m$	0.29 - 0.385 $\mu m$	0.695 - 3.0 $\mu m$
Response time	1 s	1 s	1s
Linearity	$\pm 0.5\%$ ( 0 – 1400 $W/m^2$ )	$\pm 2.0\%$ ( 0 – 70 $W/m^2$ )	$\pm 0.5\%$ ( 0 – 1400 $W/m^2$ )

**Radiasi Matahari Global ( $I_{Glo}$ )**

Data Radiasi matahari Global diperoleh dari alat Piranometer, cara kerja alat ini adalah dengan merubah energi panas menjadi energi listrik, lalu dikali dengan nilai sensitivitas alat sehingga didapati nilai radiasi matahari global, piranometer ini mengukur radiasi matahari pada panjang gelombang 0.280 – 3  $\mu m$ . sensor yang dipakai pada alat ini yaitu thermocouple.



Gambar 7. Diagram Skematik Piranometer

Thermocouple adalah perangkat yang terdiri dari dua konduktor yang berbeda, biasanya paduan-paduan logam, yang bisa menghasilkan tegangan yang berbanding lurus dengan perbedaan suhu antara kedua ujung pasangan konduktor.



**Gambar 8.** Pyranometer Eppley PSP (*Precision Spectral Pyranometer*)

Alat yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari global ( $I_{G10}$ ) yang berasal dari seluruh lengkung langit yaitu *Eppley PSP (Precision Spectral Pyranometer)*. Besarnya radiasi matahari global menunjukkan besarnya radiasi matahari yang diterima permukaan bumi. Piranometer ini merupakan piranometer komersial yang paling presisi dengan sensitivitas  $\pm 0,7\%$ , pada suhu antara  $20^{\circ}$ - $40^{\circ}\text{C}$ . Piranometer ini dilengkapi dengan detektor yang terdiri dari 10 sampai 50 sambungan (*junction*) termopile. Detektor tersebut terletak di dalam kaca konsentrik setengah bola berdiameter 7,6 mm yaitu kaca soda limun yang mentransmisikan sinar matahari dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) antara  $0,32\ \mu\text{m}$  sampai dengan  $4,2\ \mu\text{m}$ . Sebuah piringan kromium melindungi detektor dari radiasi yang datang dari arah bawah dan disangga oleh soket perunggu.

#### **Radiasi Matahari Near Infra Red ( $I_{NIR}$ )**

Sama dengan radiasi matahari global, pengukuran radiasi matahari NIR juga menggunakan piranometer, bedanya kubahnya berwarna lebih gelap agar dapat mengukur radiasi matahari pada panjang gelombang  $0,695 - 3,0\ \mu\text{m}$ . Instrumen pengukur radiasi Matahari Near Infra Red ( $I_{NIR}$ ) disebut Piranometer RG58.



**Gambar 9.** Pyranometer Eppley RG58

#### **Radiasi Matahari Total Ultraviolet ( $I_{TUV}$ )**

Pengukuran radiasi matahari Ultraviolet menggunakan Total UV Radiometer pada panjang gelombang  $0,29 - 0,385\ \mu\text{m}$ .



**Gambar 10.** Total UV Radiometer

### Analisa Data

Analisis data dilakukan selain dengan menentukan nilai  $r$  tiap-tiap persamaan, juga dilakukan dengan menghitung besarnya *Root Mean Square* (RMSE), *Mean Bias Error* (MBE) dan *Mean Percentage Error* (MPE) dengan menggunakan MS Excel. Nilai-nilai tersebut diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (I_{(PAR \text{ TIDAK LANGSUNG})} - I_{(PAR \text{ LANGSUNG})})^2}{n}}$$

$$MBE = \frac{\sum I_{(PAR \text{ TIDAK LANGSUNG})} - I_{(PAR \text{ LANGSUNG})}}{n}$$

$$MPE = \frac{\sum \left( \frac{I_{(PAR \text{ TIDAK LANGSUNG})} - I_{(PAR \text{ LANGSUNG})}}{I_{(PAR \text{ LANGSUNG})}} \times 100 \right)}{n}$$

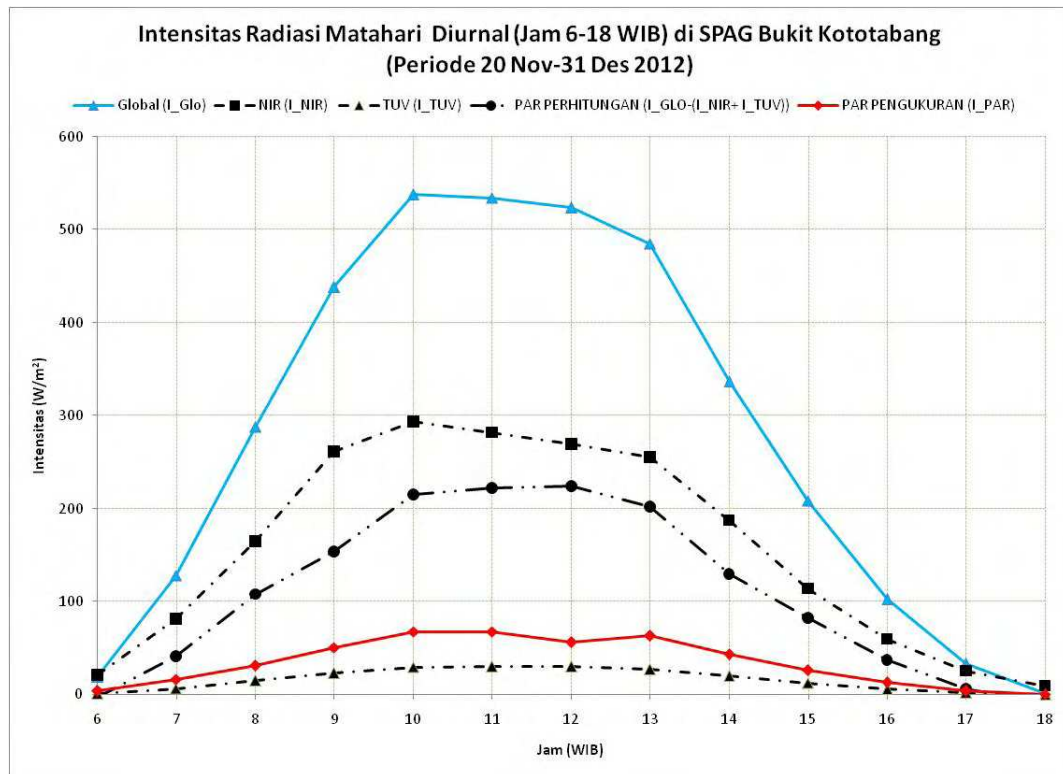
Dimana  $I_{PAR \text{ TIDAK LANGSUNG}}$  merupakan radiasi matahari PAR dari hasil perhitungan dengan menggunakan formula matematis  $I_{PAR \text{ TIDAK LANGSUNG}} = I_{Glo} - (I_{NIR} + I_{TUV})$  yang telah diperoleh,  $I_{PAR \text{ LANGSUNG}}$  adalah radiasi matahari PAR yang terukur dari PAR radiometer, dan  $n$  merupakan jumlah data. Selain itu statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan data secara diurnal (24 jam) dan harian.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data jangka pendek, dari 20 November 2012 sampai 31 Desember 2012, mengingat ketersediaan data dari seluruh instrumen. Untuk data intensitas radiasi matahari Global ( $I_{Glo}$ ), Total UV ( $I_{TUV}$ ) dan Near Inframerah ( $I_{NIR}$ ), Rawdata 3 menit dari masing-masing instrumen kemudian diolah menjadi rata-rata per jam (dari jam 06.00 – 18.00) dan kemudian data diolah lagi menjadi data rata-rata harian. Sedang untuk data pengukuran PAR langsung, rawdata 5 menit dari instrumen kemudian diolah menjadi rata-rata per jam (dari jam 06.00 – 18.00) dan kemudian data diolah lagi menjadi data rata-rata harian.



Data Intensitas Radiasi Matahari Diurnal (rata-rata per jam dari jam 06.00-18.00 WIB)



Gambar 11. Intensitas Radiasi Matahari Diurnal (jam 6-18 WIB) di Bukit Kototabang periode 20 November 2012 - 31 Desember 2012

Selama periode dari 20 November 2012 sampai 31 Desember 2012, rata-rata radiasi matahari global ( $I_{Glo}$ ) diurnal hasil pengukuran dengan *Eppley PSP* yang diterima permukaan bumi Bukit Kototabang, memiliki kecenderungan pada pagi hari akan menaik mencapai maksimum (di atas  $500 \text{ W/m}^2$ ) sampai 10-12 WIB, kemudian akan menurun sampai pukul 18 WIB. Pola yang sama ternyata juga diikuti oleh radiasi matahari infra merah dekat ( $I_{NIR}$ ), namun dengan nilai maksimum intensitas mendekati  $300 \text{ W/m}^2$ . Lain halnya dengan radiasi matahari Total Ultraviolet ( $I_{TUV}$ ), selama sehari-hari dari jam 6-18 WIB cenderung tetap, kenaikannya melandai pada kisaran  $0-30 \text{ W/m}^2$ . Sedangkan untuk nilai PAR hasil pengukuran menunjukkan pola yang sama dengan radiasi matahari global, hanya saja kemiringan/sloponya lebih rendah dan intensitas maksimum perjam kurang dari  $100 \text{ W/m}^2$ . Nilai PAR hasil perhitungan secara matematis menunjukkan pola yang sama dengan nilai PAR hasil pengukuran, tetapi nilai PAR perhitungan lebih tinggi daripada nilai PAR pengukuran namun masih rendah daripada radiasi matahari global.

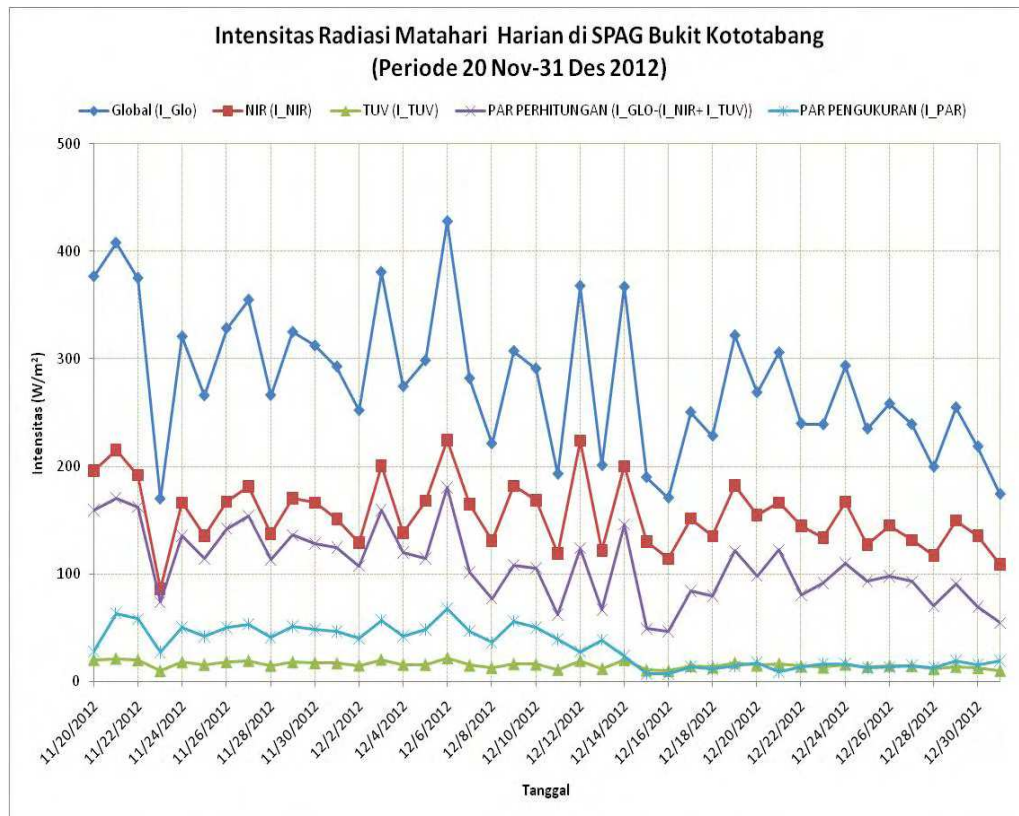
Data Intensitas Radiasi Matahari Harian

Selama periode 20 November 2012 sampai 31 Desember 2012, rata-rata radiasi matahari global harian hasil pengukuran dengan *Eppley PSP* yang diterima permukaan bumi Bukit Kototabang, menunjukkan rata-rata sebesar  $279,69 \text{ Wm}^{-2}$  dengan standar deviasi sebesar  $66,65 \text{ Wm}^{-2}$ . Nilai maksimum harian sebesar  $427,66 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 6 Desember 2012, nilai minimum harian sebesar  $169,97 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 23 November 2012. Rata-rata harian radiasi matahari Total Ultraviolet harian hasil pengukuran dengan TUV Radiometer yang diterima permukaan bumi Bukit Kototabang selama periode 20 November 2012 sampai 31 Desember 2012, menunjukkan rata-rata sebesar  $15,58 \text{ Wm}^{-2}$  dengan standar deviasi sebesar  $3,21 \text{ Wm}^{-2}$ . Nilai maksimum harian sebesar  $21,98 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 6 Desember 2012, nilai minimum harian sebesar  $9,94 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 16 Desember 2012.

Selama periode 20 November 2012 sampai 31 Desember 2012, rata-rata radiasi matahari near inframerah harian hasil pengukuran dengan Piranometer RG58 yang diterima permukaan bumi Bukit Kototabang, menunjukkan rata-rata sebesar  $155,70 \text{ Wm}^{-2}$  dengan standar deviasi sebesar  $32,01 \text{ Wm}^{-2}$ . Nilai maksimum harian sebesar  $224,85 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 6 Desember 2012, nilai minimum harian sebesar  $85,98 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 23 November 2012.

Rata-rata harian nilai PAR hasil pengukuran dengan PAR Radiometer yang diterima permukaan bumi Bukit Kototabang selama periode 20 November 2012 sampai 31 Desember 2012, menunjukkan rata-rata sebesar  $32,67 \text{ Wm}^{-2}$  dengan standar deviasi sebesar  $18,19 \text{ Wm}^{-2}$ . Nilai maksimum harian sebesar  $68,06 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 6 Desember 2012, nilai minimum harian sebesar  $7,11 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 16 Desember 2012.

Rata-rata harian nilai PAR hasil perhitungan formula matematika  $I_{PAR} = I_{Glo} - (I_{NIR} + I_{TUV})$  selama periode 20 November 2012 sampai 31 Desember 2012, menunjukkan rata-rata sebesar  $108,42 \text{ Wm}^{-2}$  dengan standar deviasi sebesar  $34,06 \text{ Wm}^{-2}$ . Nilai maksimum harian sebesar  $180,83 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 6 Desember 2012, nilai minimum harian sebesar  $46,88 \text{ Wm}^{-2}$  terjadi pada tanggal 16 Desember 2012.



**Gambar 12.** Intensitas Radiasi Matahari Harian di Bukit Kototabang periode 20 November 2012 - 31 Desember 2012

Dari data itu memperlihatkan bahwa untuk nilai maksimum semua intensitas radiasi matahari tercapai pada tanggal yang sama yaitu 6 Desember 2012. Lain halnya untuk nilai minimum intensitas radiasi matahari global sama dengan intensitas radiasi matahari near inframerah tercapai pada 16 Desember 2012, sedangkan intensitas radiasi matahari Total Ultraviolet sama dengan nilai PAR Perhitungan dan nilai PAR Pengukuran tercapai nilai minimum pada 16 Desember 2012.



**Tabel 2.** Intensitas Radiasi Matahari Harian di Bukit Kototabang periode 20 Nov-31 Des 2012

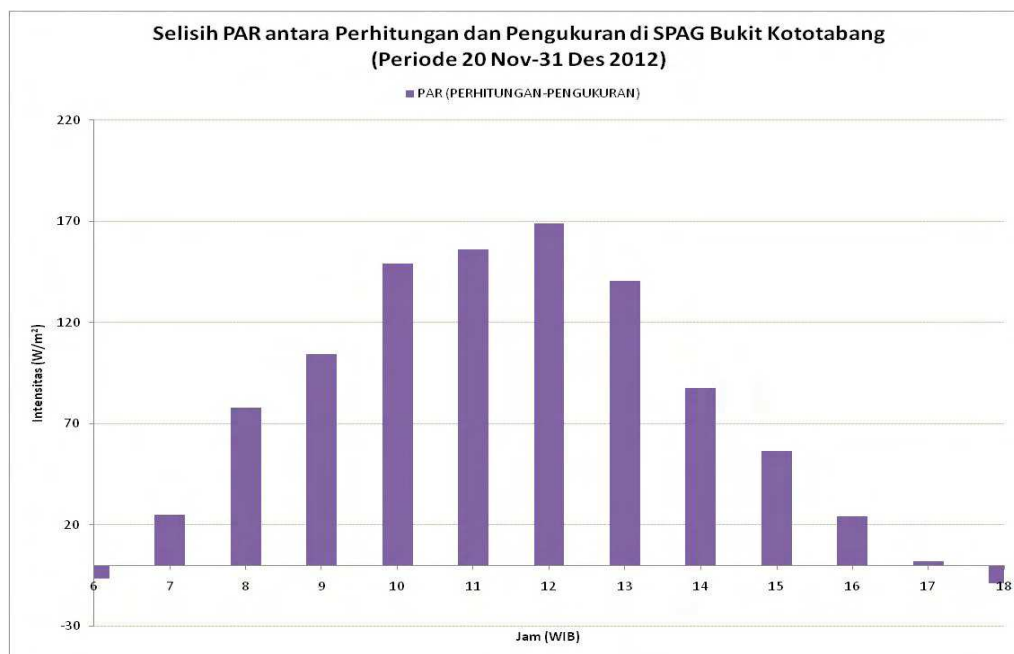
Tanggal	I Global	I TUV	I NIR	I PAR Langsung	I PAR Tak Langsung
11/20/2012	376.62	20.22	196.51	27.91	159.90
11/21/2012	407.84	21.39	215.38	63.74	171.07
11/22/2012	375.00	19.95	192.11	58.41	162.94
11/23/2012	169.97	10.05	85.98	27.29	73.95
11/24/2012	320.62	18.01	166.52	50.40	136.09
11/25/2012	265.90	15.82	135.69	42.12	114.39
11/26/2012	328.38	18.27	167.42	50.60	142.70
11/27/2012	354.78	19.47	181.45	53.60	153.86
11/28/2012	266.25	14.93	137.72	41.39	113.59
11/29/2012	324.92	17.99	170.54	51.45	136.38
11/30/2012	312.28	17.30	166.48	48.82	128.50
12/1/2012	292.84	16.98	151.15	46.88	124.71
12/2/2012	252.13	14.96	129.36	39.91	107.81
12/3/2012	380.57	20.46	200.58	57.40	159.52
12/4/2012	274.38	15.83	138.56	42.21	119.98
12/5/2012	298.50	15.75	168.12	48.55	114.62
12/6/2012	427.66	21.98	224.85	68.06	180.83
12/7/2012	281.86	15.05	165.11	47.13	101.71
12/8/2012	221.27	12.81	130.88	36.30	77.58
12/9/2012	307.22	16.26	182.17	56.44	108.78
12/10/2012	290.98	15.99	168.98	50.20	106.02
12/11/2012	193.06	11.12	119.23	39.14	62.71
12/12/2012	367.77	19.28	224.22	27.85	124.27
12/13/2012	201.12	11.93	121.86	38.80	67.33
12/14/2012	366.90	20.16	200.53	23.91	146.21
12/15/2012	189.96	10.59	130.03	7.26	49.34
12/16/2012	170.89	9.94	114.08	7.11	46.88
12/17/2012	250.42	14.53	151.62	13.58	84.27
12/18/2012	228.48	13.32	135.38	11.87	79.78
12/19/2012	321.72	17.52	182.50	14.05	121.70
12/20/2012	268.76	15.12	154.94	17.43	98.71
12/21/2012	305.85	16.65	166.55	9.36	122.65
12/22/2012	239.81	14.16	144.86	13.15	80.78
12/23/2012	238.97	13.21	134.15	16.51	91.62
12/24/2012	293.54	15.94	167.24	16.66	110.36
12/25/2012	235.07	13.68	127.45	12.69	93.94
12/26/2012	258.22	14.82	145.26	13.29	98.14
12/27/2012	239.14	14.39	131.51	14.48	93.24
12/28/2012	199.60	11.57	117.55	12.69	70.48
12/29/2012	254.90	13.83	149.78	19.01	91.28
12/30/2012	218.55	12.72	135.80	15.30	70.02
12/31/2012	174.31	10.22	109.14	19.20	54.95

**Analisa data**

**Tabel 3.** Analisa Data Perbandingan Nilai PAR (Perhitungan dan Pengukuran) periode 20 Nov-31 Des 2012

Periode	N	R	RMSE	MBE	MPE
Jam-jaman	537	0.83531	11760.15	75.08527	25364.36
Harian	42	0.621527	43.11866	40.67119	343.796

**Data Intensitas Radiasi Matahari Diurnal (rata-rata per jam dari jam 06.00-18.00 WIB)**



**Gambar 13.** Nilai selisih PAR secara diurnal (jam 08-18 WIB) di Bukit Kototabang antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran periode 20 November 2012 - 31 Desember 2012.

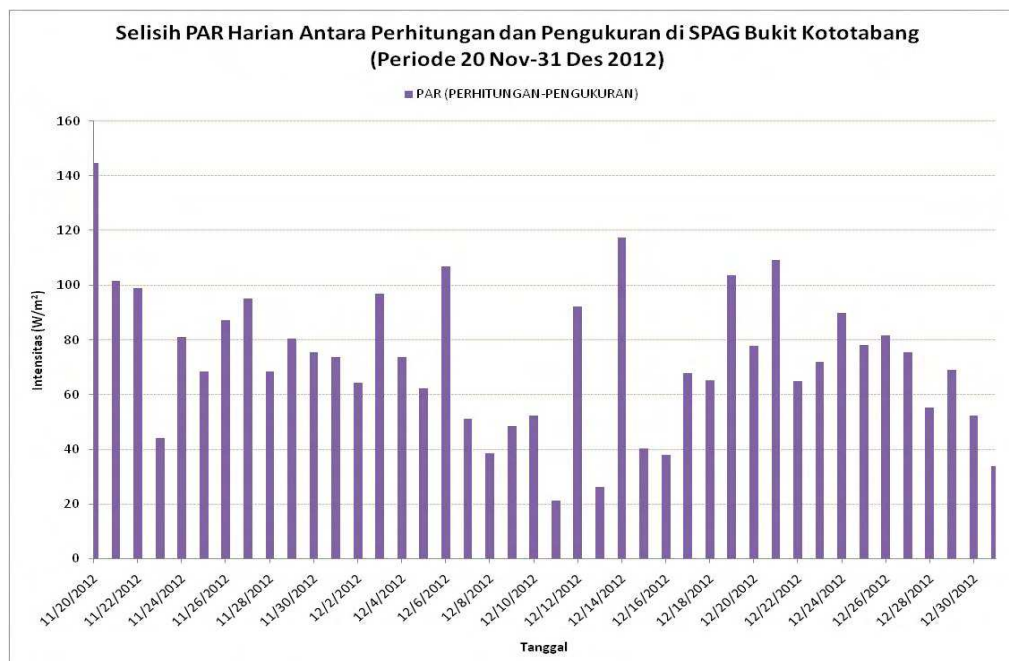
Dengan melihat data diurnal, dengan jumlah data sebanyak 537 buah jam, terlihat bahwa nilai R (korelasi Pearson) tinggi sebesar 0,83, hal itu menunjukkan bahwa pengukuran nilai PAR antara Pengukuran dan Perhitungan mempunyai kecenderungan/pola yang sama, dari jam 06 akan naik dan mencapai maksimum pada tengah hari sekitar jam 12 kemudian akan turun kembali pada pukul 18. Namun RMSE, MBE, dan MPE digunakan untuk menunjukkan perbedaan/selisih nilai PAR hasil perhitungan dan pengukuran. Nilai RMSE yang mendekati nol (0) maka nilai perhitungan akan mendekati nilai pengukuran, sedangkan jika semakin menjauh nol (0) atau semakin besar berarti beda nilai perhitungan akan semakin besar dengan nilai pengukuran. Begitu juga dengan nilai MBE dan MPE, bila angkanya semakin kecil, maka nilai perhitungannya akan mendekati nilai pengukuran atau kesalahannya semakin kecil.

Data ditabel memperlihatkan perbedaan/selisih nilai RMSE, MBE, dan MPE yang cukup besar, hal itu menunjukkan selisih nilai PAR hasil perhitungan dan pengukuran yang cukup besar, yang berarti pertama ada perbedaan sensitivitas dari alat dan jenis sensor yang digunakan, kedua kemungkinan ada faktor koreksi lain yang harus ditambahkan pada formula matematika  $I_{PAR} = I_{Glo} - (I_{NIR} + I_{TUV})$ .

**Data Intensitas Radiasi Matahari Harian**

Dengan melihat data harian terdapat 42 jumlah data, terlihat bahwa nilai R (korelasi Pearson) bernilai cukup atau baik sebesar 0,62, walaupun nilai korelasi tidak sebesar pada nilai diurnal. Namun nilai RMSE, MBE, dan MPE digunakan untuk menunjukkan

perbedaan/selisih nilai PAR hasil perhitungan dan pengukuran juga masih besar namun masih lebih kecil daripada nilai diurnalnya. Selisih nilai PAR antara Pengukuran Tidak Langsung (hasil perhitungan) dengan Pengukuran Langsung (hasil observasi) menunjukkan selisih berkisar antara  $21,52 \text{ W/m}^2$  (terukur pada 11 Desember 2012) sampai  $144,70 \text{ W/m}^2$  (terukur pada 20 November 2012).



**Gambar 14.** Nilai selisih PAR secara harian di Bukit Kototabang antara hasil perhitungan dengan hasil pengukuran periode 20 November 2012 - 31 Desember 2012.

Hasil nilai pengukuran PAR secara tidak langsung (hasil perhitungan) selalu lebih besar daripada pengukuran PAR secara langsung (hasil pengukuran observasi) dilihat dari periode diurnal maupun periode harian, kemungkinan ini disebabkan perbedaan jenis dan merk sensor, kedua karena kemungkinan ada faktor koreksi lain (misalnya: faktor meteorologi: temperatur udara, tekanan udara, RH, dan sebagainya) yang harus ikut diperhitungkan pada pengukuran PAR secara tidak langsung (hasil perhitungan).

## KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai pengukuran PAR secara tidak langsung (hasil perhitungan) selalu lebih besar daripada pengukuran PAR secara langsung (hasil pengukuran observasi) dilihat dari periode diurnal maupun periode harian, kemungkinan ini disebabkan perbedaan jenis sensor dan perlunya faktor koreksi yang harus diperhitungkan pada pengukuran PAR secara tidak langsung (hasil perhitungan).

## DAFTAR PUSTAKA

- Escobedo, F.J., E.N. Gomez, A.P. Oliveira. 2010. *Ratio of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Batucatu site in Brazil*. Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas.
- Britton C.M. and J.D. Dodd. 1976. Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Agricultural Meteorology* 17:1-7.
- Zhang X., Y Zhang, and Y. Zhou. 2000. Measuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October. *Agricultural Meteorology* 102:207-212.